

**CONTRIBUTION A LA MODELISATION MATHEMATIQUE DE L'EFFORT
DE RESISTANCE A LA TRACTION DE DEUX CORPS DE CHARRUE
A SOC EN SOL SABLEUX.**

AMARA M.

Institut National Agronomique – El – Harrach, Alger

Résumé: Le travail présenté dans cet article porte sur la relation existante entre la forme des surfaces actives des corps de charrues à socs, fabriquées en Algérie et l'effort de résistance à la traction. Les résultats de nos essais sont présentés sous forme d'équations mathématiques qui mettent en relation les principaux facteurs mis en jeu lors des labours, parmi lesquels nous citerons ceux liés au sol, et aux conditions de travail, et ceux caractérisant la forme des versoirs des deux corps de charrues à socs testés.

Mots clés : effort de résistance à la traction, forme, échelle, profondeur, vitesse, angle, corps de charrue à socs, versoirs.

**CONTRIBUTION TO THE MATHEMATICAL MODELISATION OF THE
DRAUGHT OF TWO MOULDBOARD IN SANDY SOIL**

Abstract : The work presented in this article carries on the existing relation between the shape of the active surfaces some body of ploughs, made in Algéria, and the effort of résistance to the hauling. The results of our tests is presented under shape of mathematics equations who would put the principals in relation carriers put in game during some ploughing, among whom we will mention those bound to the soil, and to the conditions of work those characterizing it forms some mouldboard of the two body of ploughs to tested .

Key words : Effort of resistor to the hauling, Shape, Scale, Depth, Speed, Angle, Body of plough, Mouldboard.

INTRODUCTION

La détermination de l'effort de résistance à la traction a un double intérêt , le premier est économique, il permet l'évaluation des besoins énergétiques pour la mise en place des cultures, le second est par contre d'ordre qualitatif , en effet la quantification de l'effort de résistance à la traction nous renseigne sur l'intensité d'une des principales composantes du torseur qui sollicitera la bande de terre labourée, ceci permettrait de prévoir , pour une teneur en eau approchant la capacité au champ, la transformation de celle-ci , à partir de son état initial . Cependant l'intensité de cet effort est étroitement liée à l'interaction simultanée de plusieurs facteurs dont les principaux sont l'état initial du sol, la forme des surfaces actives ainsi que les conditions de travail, vitesse d'avancement, profondeur et largeur des pièces travaillantes. Notre travail est composé de deux parties, la première consiste à caractériser les formes des deux corps de charrues par la méthode des coordonnées, la seconde porte sur la détermination de l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol pendant le labour à ces deux formes.

MATERIELS ET METHODES

1- Matériels

1-1- Caractérisation de la forme des surfaces actives

Deux types de corps de charrues à socs fabriqués en Algérie ont fait l'objet de nos essais. Ils sont caractérisés par deux formes de versoirs, l'une cylindrique fabriquée par SACRA, l'autre de forme mixte, cylindrique a l'avant et relativement plat à l'arrière, conçu par l'ENPMA. En utilisant les projections de ces corps de charrues, trois modèles réduits ont été réalisés pour chacune des deux formes. Ces modèles réduits ont respectivement les échelles 1/4, 1/3 et 1/2 de la taille réelle des deux prototypes. La forme des socs est la même pour les deux corps. L'analyse de la géométrie des surfaces actives des deux corps et de leurs influences sur les indices qualitatifs des labours a fait l'objet d'un article précédent (AMARA M. 1995).

1-2- Détermination de l'effort de résistance à la traction

Les essais se sont déroulés sur un canal d'essais de traction d'outils aratoires muni d'un chariot porte outils (fig.1). Sur les étauçons des corps de charrues, des jauges de contraintes extensiométriques sont collées , l'ensemble est relié à une chaîne de mesure extensiométrique composée d'un pont de Wheatstone avec amplification de signal et d'un enregistreur à six voies pour la détermination de l'effort de résistance à la traction

Sur le chariot porte-outils, deux modèles réduits de même échelle et de formes différentes sont montés, l'ensemble est animé d'un mouvement de translation le long du canal à l'aide d'un câble en acier relié à un moteur électrique, par l'intermédiaire

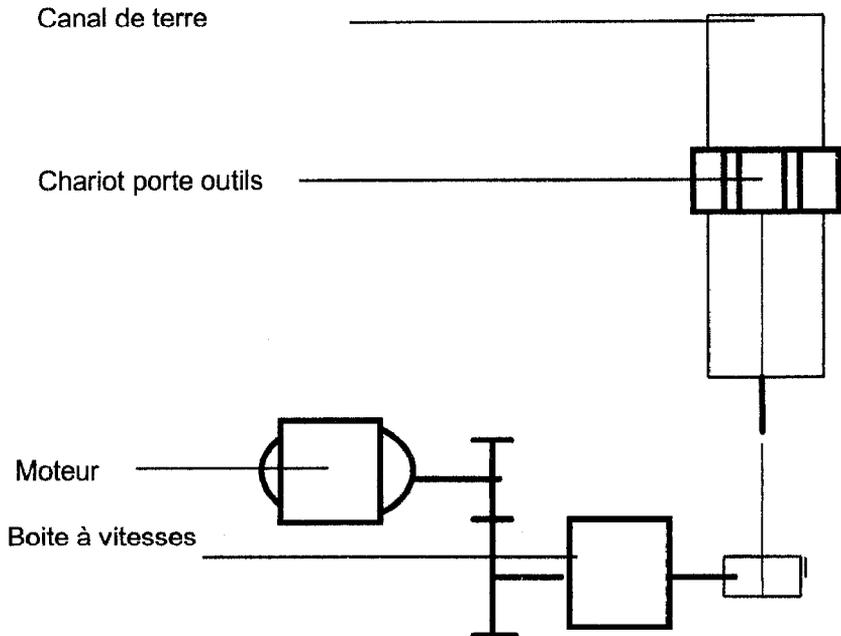


Figure 1: Canal d'essais de traction des outils aratoires

d'un variateur de vitesses. Avant le déplacement du chariot, certains facteurs sont maintenus constants, le paramètre étudié subira une variation après chaque passage. Le schéma expérimental est représenté sur la figure ci-dessous (fig. 2). L'avantage que représente ce dispositif est la mise dans les mêmes conditions de travail de deux corps de charrues.

Après chaque passage du chariot deux courbes sont obtenues, l'une pour **SACRA**, l'autre pour la forme **ENPMA**. Dix valeurs de l'effort de résistance à la traction sont mesurées sur chacune des courbes enregistrées.

1-3- Conditions expérimentales pour la détermination de $F(t)$.

Pour éviter les nombreuses interactions dues à l'anisotropie d'un sol réel sur l'effort de résistance à la traction, le sol utilisé lors de nos essais a une texture

sableuse avec :

Sable.....83,50 %
Argile.....10,33 %
Limon.....6,17 %

La teneur en eau pendant les essais est maintenue à 10 %

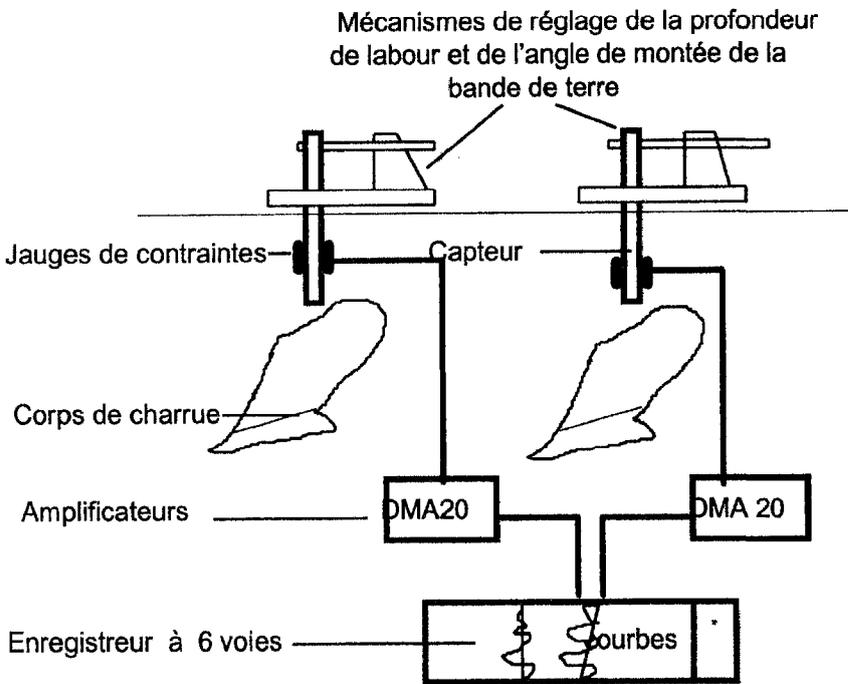


Figure 2 : Chaîne de mesure de l'effort de résistance à la traction

2- Conditions des essais

2-1- Vitesses d'avancement

Quatre vitesses ont été choisies, elles sont respectivement de : $V1 = 0,04$ m/s
 $V2 = 0,06$ m/s $V3 = 0,08$ m/s et $V4 = 0,16$ m/s.

2-2- Profondeur de labour

Trois profondeurs ont été prises en considération, la première à la hauteur du soc la deuxième à la mi - hauteur du versoir et la troisième à la hauteur totale du corps de charrue, ces valeurs sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau I: Profondeurs de labour

Echelle du corps	1/4	1/3	1/2
	Profondeur (m)		
P1	0.03	0.05	0.07
P2	0.04	0.06	0.09
P3	0.07	0.09	0.12

2-3- L'angle de montée de la bande de terre (A)

Cinq valeurs ont été déterminées à l'aide du dispositif de réglage des corps de charrue sur le chariot porte outils. La variation de l'angle de montée de la terre qui est l'une des caractéristiques importantes de la forme des versoirs, nous renseigne sur la surface de pression du corps de charrue sur le sol (fig. 2)

RESULTATS

1- Analyse des résultats

- Méthode d'analyse de la forme des surfaces actives

Les surfaces actives des corps de charrues , étant complexes dans leur totalité , ont été subdivisées chacune en trois surfaces distinctes. Les coordonnées des différents points de ces surfaces élémentaires sont analysés par la méthode des régressions polynomiales du second degré. Ceci a permis de tracer les courbures moyennes des surfaces actives des deux corps de charrues étudiés (fig.3).

La figure 3 montre les trois niveaux des courbures moyennes des surfaces élémentaires.

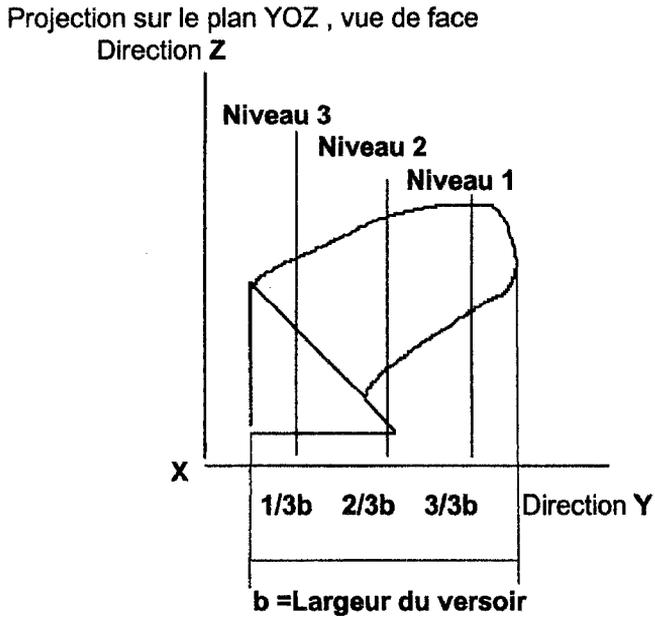
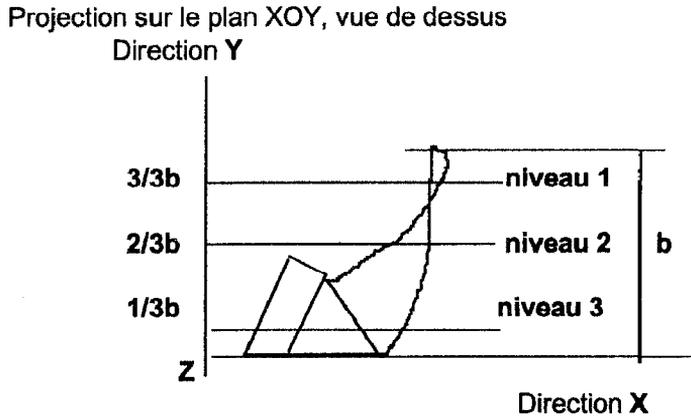


Figure 3. Plans de projections des courbures moyennes

- Méthode d'analyse de Ft

La première analyse porte sur la mise en évidence du degré d'influence des différents paramètres étudiés (profondeur, vitesse d'avancement, angle de montée de la terre et la forme du corps de charrue) sur l'effort de résistance à la traction. en utilisant l'analyse de la variance avec une probabilité de 5% une analyse des régressions permettra par la suite l'établissement des modèles mathématiques du type :

$$F_t = f(\text{Profondeur, vitesse, angle, taille de l'outil})$$

La deuxième analyse est orientée sur la recherche de la relation entre la taille des modèles réduits et de l'effort de résistance à la traction en vue de prévoir la valeur de l'effort de résistance à la traction en utilisant la dimension réelle des corps de charrue à socs.

- Caractéristiques géométriques des surfaces actives .

L'analyse des coordonnées des différents points des surfaces actives des deux formes de corps de charrues a permis de tracer les courbes caractéristiques représentées ci-dessous (fig. 4) :

Les courbes ci-dessous représentent les courbes des surfaces actives des charrues à socs à trois niveaux, de haut vers le bas :

- niveau 1- Partie arrière de la surface active.
- niveau 2- Partie centrale de la surface active.
- niveau 3- Partie avant de la surface active.

Nous remarquerons qu'à l'avant du corps, le rayon de courbure pour la forme SACRA est plus petit que celui de la forme ENPMA, au milieu de la surface la courbure moins accentuée pour les deux surfaces mais encore plus importante pour SACRA, pour ce qui est de la partie arrière, la surface est toujours caractérisée par un faible rayon de courbure pour le versoir SACRA par contre, celui-ci est plus grand pour le versoir ENPMA. Les équations de ces courbes mettent clairement ces remarques en évidence (voir les coefficients a, b et c). Ces différences de formes ne sont pas sans effet sur les indices qualitatifs des labours (retournement de la bande de terre et enfouissement des résidus végétaux, émiettement et dimension des mottes) et sur l'intensité de l'effort de résistance à la traction.

a) Forme ENPMA

b) Forme SACRA

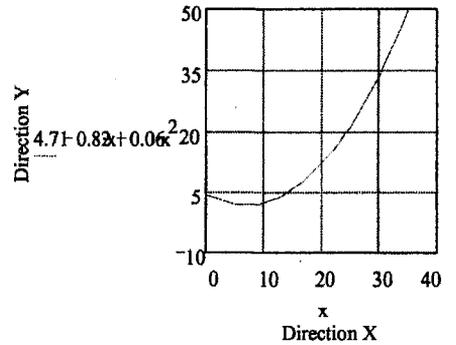
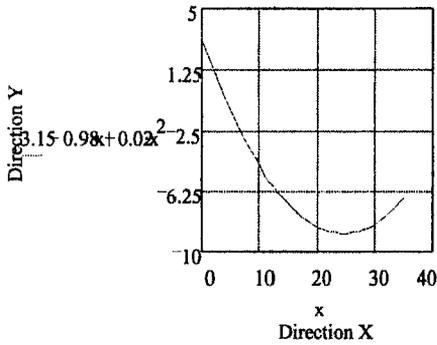
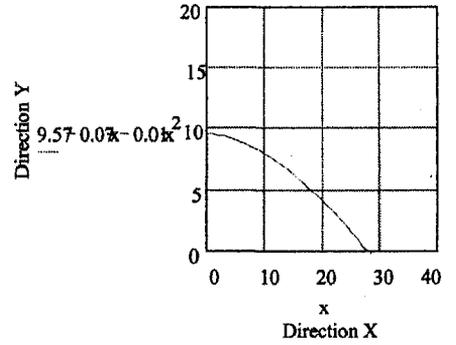
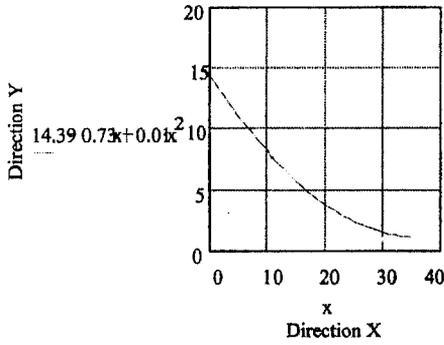
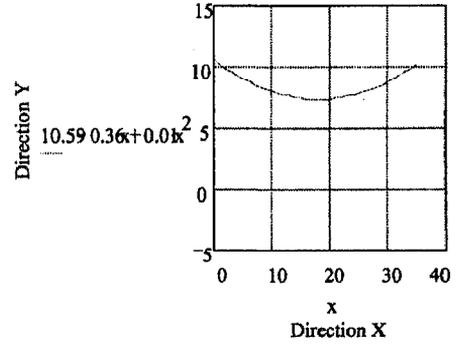
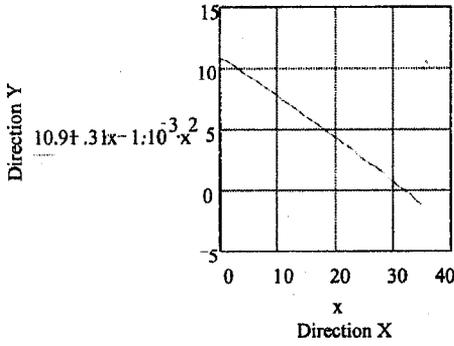


Fig. 4 : Courbures moyennes des surface actives des corps de charrues

Tableau II : Coefficients a, b, et c des équations de courbure

Coefficients	a			b			c		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Niveaux	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Forme SACRA	10.59	9.57	4.71	-0.36	-0.07	-0.82	0.01	-0.01	0.06
Forme ENPMA	10.91	14.39	-3.15	-0.31	0.73	0.98	-0.001	0.01	-0.02

Nous représentons ci-dessous les surfaces actives des deux formes de corps de charrue , obtenues à partir des équations de régressions des courbures moyennes (fig.4) ,elles font ressortir la différence entre les deux corps de charrue à socs , au niveau de la partie arrière des versoirs . Celle-ci est plate pour la forme ENPMA et courbe pour la forme SACRA . Ce qui n'est pas sans influence sur la déformation de la bande de terre et sur la valeur de l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol à l'avancement.

- Equations de forme des deux surfaces actives

Après analyse et traitement statistique des coordonnées X, Y et Z des points des surfaces actives des deux corps de charrues, les équations $Z = f(X)$ et $Z = f(Y)$ ont été établies par régressions polynomiales . Ceci a permis la détermination des équations $Z = f(X, Y)$ pour chacun des corps de charrues. Par intégration double de ces équations.

Les modèles mathématiques des formes des surfaces sont représentés par les équations suivantes :

Forme SACRA :

$$f(x, y) = 9,05.x.y + 21,76.\ln(1+\exp(-3.x + 4,5)) .y - 97,70.y + 0,03.x.y^2 + 0,036.x.y^3 + 0,005.x.y^4$$

Forme ENPMA :

$$f(x, y) = 4,13.x.y + 8,5.x.\exp(-6,25/ -89+25.\ln(x)) .y + 0,20.x.y^2 - 0,026.x.y^3$$

Dans ces équations, x, y et f(x, y) représentent respectivement la profondeur, la largeur et la hauteur du corps de charrue (fig. 5) .

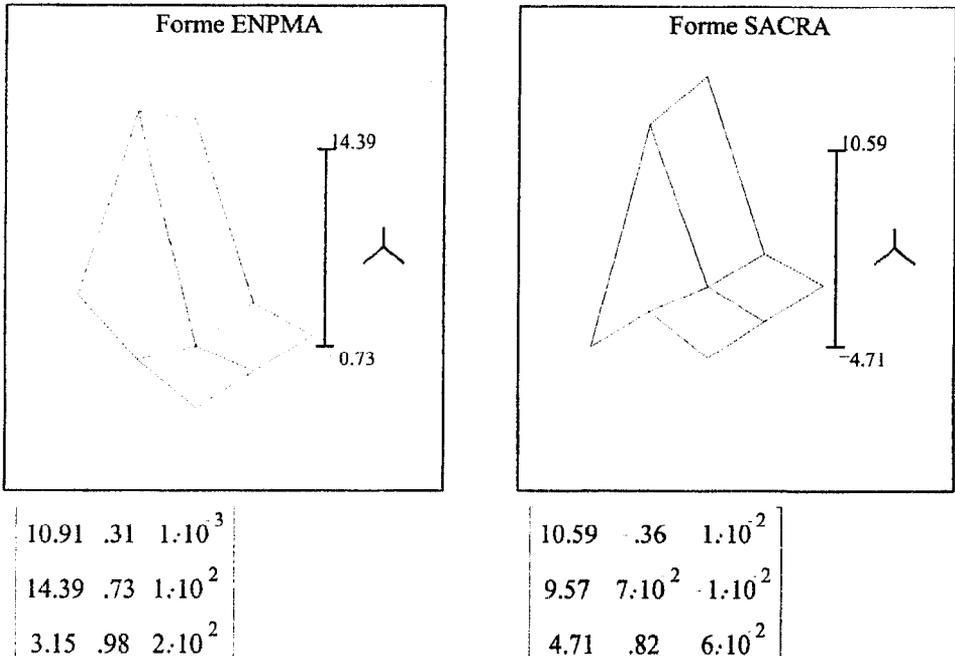


figure 5. Formes des deux surfaces actives des deux corps de charrues

2 - Synthèses des résultats

2-1- Influence de la forme du versoir

Suite aux 180 passages du chariot porte-outils sur le canal, 360 courbes ont été enregistrées, leurs analyses ont permis de mettre en évidence l'influence de la forme du versoir sur l'effort de résistance à la traction, ce qui n'est pas très évident sur le terrain. En effet l'amplitude des courbes obtenues avec le versoir ENPMA est plus importante que celle obtenue sur les courbes du corps de charrue fabriqué par SACRA.

2-2- Influence des dimensions du modèle

Nous constatons que pour une même forme, l'augmentation de l'échelle du corps de charrue entraîne une augmentation de la valeur de l'effort de résistance à

a traction, cependant il n'existe pas de proportionnalité entre la taille du modèle et l'effort. (fig. 3).

2-3- Influence des conditions de travail

L'augmentation de la profondeur de travail et de l'angle de montée de montée de la bande de terre entraîne celle de l'effort de résistance à la traction. Par contre l'effet de la vitesse n'est pas apparent ,ce qui est probablement du aux propriétés physico - mécaniques du sol qui a une texture sablonneuse caractérisée par une cohésion très faible.

2-4- Influence de l'angle de montée de la bande de terre

L'analyse de l'influence de l'angle(A) , de montée de la bande de terre , du corps de charrue, sur l'effort de résistance à la traction , a montré que celui-ci influe positivement sur l'effort et que la relation entre ces deux paramètres est une fonction du type :

$$F_t = a + \frac{b}{1 + [(A - c) / d]^2}$$

Cette équation à été obtenue par analyse de la régression entre l'effort de résistance à la traction et la vitesse d'avancement du chariot sur le canal d'essais; le logiciel utilisé à cet effet est " Curve ", le coefficient de régression moyen obtenu est $R^2 = 0,80$. Les constantes a, b, c et d sont respectivement, pour chaque forme et chaque échelle (Tableau III).

Tableau III : Valeurs des constantes a, b, c et d de l'équation $F_t = f (A)$

Formes	SACRA			ENPMA		
	Echelles	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3
a	0,63	-7,59	42915,54	7,13	8,46	185,13
b	15,55	33,99	42957,64	12,77	22,08	256,12
c	63,60	69,32	56,38	58,32	57,10	62,00
d	27,14	48,36	1155,69	12,54	14,28	63,47

2- 5 - Influence de la vitesse de travail

Les résultats obtenus représentés sur la figure ci-dessous mettent en évidence l'effet de la taille, plus celle-ci augmente, plus l'effort F_t augmente, cependant l'effet de la vitesse sur F_t n'est pas apparent pour la même forme.

Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les valeurs des vitesses sont faibles et que les essais se sont déroulés sur un sol sableux caractérisé par une très faible cohésion (fig. 6)

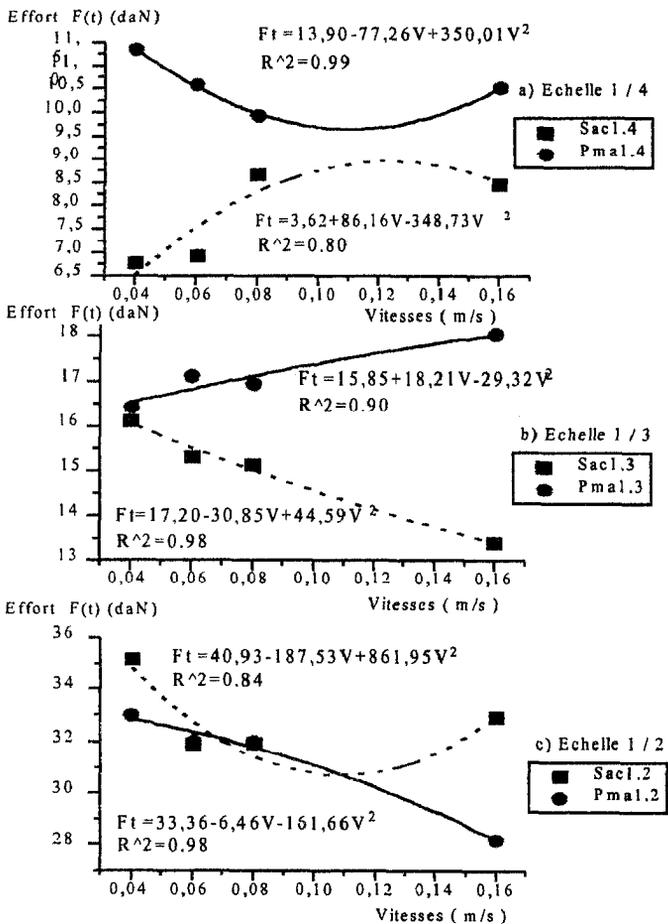


Figure 6: Courbes de regression de l'influence de la forme, de l'echelle et de la vitesse sur l'effort de résistance à la traction

2-6- Influence de la profondeur de travail sur Ft

A partir de l'analyse de la variance, les résultats obtenus ont permis de confirmer plusieurs travaux réalisés sur des pièces travaillantes simples, par plusieurs chercheurs (BINESSE, 1970 ; SUMMERS et al. 1986) qui ont montré l'importance de la profondeur et de la forme des outils aratoires, sur l'effort de résistance à la traction (fig. 7). Les valeurs des profondeurs sont mentionnées plus haut. Les résultats obtenus pour les valeurs de Ft sont consignés sur le tableau IV.

Tableau IV : Valeurs de l'effort de résistance à la traction Ft (daN).

Forme des corps	Ft (Minimale)	Ft (Maximale)	Ft (Moyenne)	SD (errFt+)
SACRA 1/4	0.35	8.46	3.78	4.19
ENPMA 1/4	1.36	10.51	5.92	9.85
SACRA 1/3	4.39	13.40	8.88	4.50
ENPMA 1/3	3.84	18.03	9.36	7.60
SACRA 1/2	9.40	32.96	19.16	12.38
ENPMA 1/2	14.75	28.18	20.14	7.09

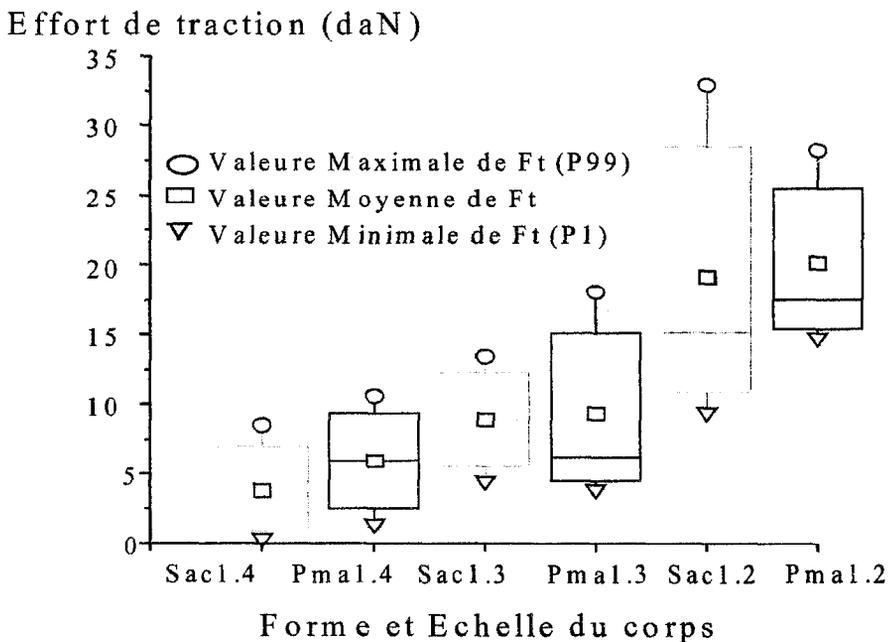


Figure 7 - Variation de Ft en relation avec la profondeur pour chaque forme et chaque échelle

2-7- Influence combinée de la profondeur ,de la vitesse et de l'angle sur Ft

Les résultats obtenus tout au long de nos essais sont représentés ci-dessous, sous forme de relations mathématiques:

Echelle 1 / 4	$Ft_{11} = 148,50 P + 0,66 v - 0,01 A - 3,69$	$R^2 = 0,64$
	$Ft_{21} = 220,40 P - 1,01 v + 0,04 A - 7,15$	$R^2 = 0,86$
Echelle 1 / 3	$Ft_{12} = 240,26 P - 3,64 v + 0,28 A - 17,25$	$R^2 = 0,91$
	$Ft_{22} = 241,11 P - 2,96 v + 0,32 A - 18,34$	$R^2 = 0,89$
Echelle 1 / 2	$Ft_{13} = 220,80 P - 8,29 v + 0,61 A - 24,62$	$R^2 = 0,80$
	$Ft_{23} = 338,90 P + 15,04 v + 1,14 A - 56,38$	$R^2 = 0,85$

En utilisant ces équations , et en considérant les profondeurs respectives aux trois échelles ; à la vitesse maximale de nos essais $V=0.16$ m/s et l'angle de montée de la bande de terre $A=35$ degrés (angle à la position normale du corps de charrue) les valeurs théoriques des efforts de résistance à la traction comparées aux valeurs réelles (obtenues lors des essais) sont consignées dans le tableau V.

Tableau V : Valeurs comparées entre Ft (théorique) et Ft (mesurées) en daN

Formes	Echelle 1 / 4	Echelle 1/3	Echelle 1 / 2
<u>Premières profondeur P1(hauteur du soc)</u>			
SACRA	0,52 (0,35)	3,98 (4,39)	10,86 (9,40)
ENPMA	0,70 (1,36)	4,44 (3,84)	9,65 (14,75)
<u>Deuxième profondeur P2(mi - hauteur du versoir)</u>			
SACRA	3,49 (2,53)	6,38 (8,86)	15,27 (15,12)
ENPMA	5,11 (5,91)	6,85 (6,21)	16,43 (17,51)
<u>Troisième profondeur P3(hauteur du versoir)</u>			
SACRA	6,46 (8,46)	13,59 (13,40)	21,90 (32,96)
ENPMA	9,52 (10,51)	14,90 (10,53)	26,60 (28,18)

Selon ces résultats, nous remarquerons que les modèles proposés restent valables

Ces équations mettent en évidence l'effet de la profondeur, de la taille et de la forme du versoir sur l'effort de résistance à la traction .Nous remarquons que les valeurs de cet effort sont plus importantes pour la deuxième forme (ENPMA). Ceci confirme nos premières observations. Nous remarquons cependant que l'effet de

la vitesse ne suit pas une loi normale. Pour les modèles réduits dont l'échelle est de un tiers ,l'effet de la vitesses est négatif ,par contre pour les autres dimensions (un quart et un demi) ,il est tantôt négatif, tantôt positif

CONCLUSION

Les résultats obtenus tout au long de ce travail mettent en évidence l'importance de la profondeur de labour , de l'angle d'entrure et de la vitesse d'avancement sur l'effort de résistance à la traction . Ces essais ont permis de confirmer les résultats de plusieurs chercheurs avec une autre forme de représentation . Les équations obtenues mettent en relation , et ce d'une façon simplifiée les principaux paramètres mis en jeux lors des labours à savoir ,par ordre d'importance , la profondeur de labour , l'angle de montée de la bande de terre (caractérisant la forme de l'outil) et la vitesse d'avancement du corps de charrue . Ces résultats restent évidemment valables dans les conditions de nos essais , mais permettent cependant une évaluation de l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol à l'avancement des corps de charrue .

Ce travail nous a également permis, dans le cadre de la comparaisons des formes, de définir la valeur minimale de l'échelle du modèle réduit, dans notre cas , sur un sol sableux , les modelés réduits dont l'échelle est de 1 / 4 ne conviennent pas , suite à la fluidité (cohésion) très faible du sable . il est cependant nécessaire de mentionner la faiblesse des vitesses d'avancement utilisées lors de nos essais ; nous signalerons tout de même que c'est l'effet de la variation de ce paramètre qui nous avons recherché.

ANNEXES**Notations**

Ft.....	Effort de résistance à la traction (daN)
P.....	Profondeur de labour (m)
b	Largeur de travail du versoir (m)
V.	Vitesse de déplacement des corps de charrues (m/s)
A.....	Angle de montée de la bande de terre (°)
E.....	Echelle du modèle réduit par rapport à la taille réelle du corps de charrue
Ft ij.....	Effort pour la forme i , échelle j
	i = 1.....Forme SACRA
	i = 2Forme ENPMA
	j = 1Echelle 1/4
	j = 2Echelle 1/3
	j = 3.....Echelle 1/2

SACRA : Société Algérienne de Construction pour la Réforme Agricole.

ENPMA : Entreprise Nationale de Production en Machines Agricoles.

Références

AMARA. M. -1995 : Influence de la forme de deux corps de charrue sur les indices qualitatifs des labours. Ann. Agron. INA , Vol.16, N°1 et 2 , pp. 1-20

FAURE A. -1969 : Contribution à l'étude de l'action d'un versoir sur l'état du sol. Etude de la géométrie des versoirs. Ann. Agron. 20 (06), pp.565-595

BINESSE M. -1970 : Cisaillement et résistance spécifique du sol lors des labours classiques. Etudes du CNEMA N° 341 et 342

SUMMERS et al - 1986 : Development of tractor performance simulation model,
Trans. ASAE, 29 (3) : pp 661-666.